

СТАБИЛИЗАТОР ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ СХЕМЫ С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

В. К. ЖУКОВ, А. Б. БУЧЕЛЬНИКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры электроизмерительной техники)

При разработке прецизионной измерительной аппаратуры иногда возникает необходимость поддержания неизменной температуры, окружающей наиболее ответственные детали устройства, например, детали колебательного контура генератора, источник опорного напряжения стабилизатора и т. п. Для этой цели используют малогабаритные термостаты. Известен ряд схем и конструкций таких термостатов. К их числу относится термостат, описанный в [1], у которого в качестве чувствительного элемента используется термистор, исполнительным элементом является реле, а усилительная часть выполнена по схеме с самовозбуждением. Применение реле ухудшает показатели стабилизатора:

делает его менее надежным и точным, а в случае стабилизации температуры в малых объемах — к тому же еще громоздким и дорогим.

Показатели стабилизатора могут быть улучшены, если из него исключить реле и выполнить по схеме, показанной на рис. 1.

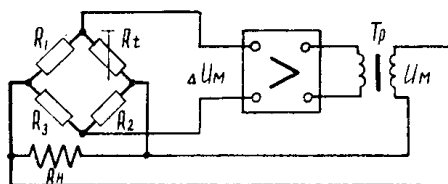


Рис. 1. Схема стабилизатора температуры

Термистор R_t и нагреватель R_n помещаются в объем, в котором необходимо стабилизировать температуру. Мост, одним из плеч которого является термистор, соответствующим подбором резисторов R_1 , R_2 и R_3 балансируется при заданной температуре. Одна диагональ моста подключена ко входу усилителя, а другая — через согласующий трансформатор к его выходу. К выходной обмотке трансформатора подключен также нагреватель R_n . Вся система представляет собой усилитель с обратной связью. Цепь обратной связи образована мостом. Если температура в камере равна заданной, мост сбалансирован и коэффициент передачи его равен нулю. Снижение температуры в камере ведет к разбалансу моста и к увеличению его коэффициента передачи. При некоторой температуре петлевое усиление $\kappa \cdot \beta$ системы становится больше 1 и в ней возникают автоколебания. Частота автоколебаний определяется частотой квазирезонанса усилителя. В результате возникновения генерации нагреватель R_n оказывается под напряжением U_m и на нем будет выделяться мощность

$$P_n = U_m^2 / R_n. \quad (1)$$

Температура в камере начнет повышаться и будет повышаться до тех пор, пока петлевое усиление $\kappa \cdot \beta$ не станет меньше 1.

Если температура в камере станет больше заданной, то наступает разбаланс моста, однако автоколебания в схеме не возникают, поскольку теперь коэффициент передачи моста отрицательный (фаза ΔU_M меняется на 180°) и, следовательно,

$$\kappa \cdot \beta < 0. \quad (2)$$

Таким образом, стабилизатор будет поддерживать в камере такую температуру, при которой мост находится вблизи равновесия.

Установим количественные соотношения между температурой в камере и ее нестабильностью, с одной стороны, и параметрами схемы и камеры — с другой.

Мощность, рассеиваемая камерой, пропорциональна разности температур Δt окружающей среды t_n и воздуха в камере t_k , поэтому ее можно представить в виде

$$P_k = P_{уд} \cdot \Delta t, \quad (3)$$

где $P_{уд}$ — мощность рассеивания, приходящаяся на один градус.

Температура в камере всегда будет ниже температуры t_0 , при которой мост уравновешен на некоторую величину

$$\delta t = t_0 - t_k. \quad (4)$$

Поскольку температура в камере t_k не равна t_0 , то сопротивление термистора будет отличаться от $R_{t,0}$ на величину

$$\Delta R_t = \alpha_t \cdot R_{t,0} \cdot \delta t, \quad (5)$$

определяемую температурным коэффициентом α_t термистора и величиной его сопротивления $R_{t,0}$ при температуре t_0 .

Изменение R_t ведет к разбалансу моста и к увеличению его коэффициента передачи

$$\beta = \frac{\Delta U_M}{U_M} = \frac{\Delta R}{R_{t,0}} \cdot m$$

до величины

$$\beta = \alpha_t \cdot m \cdot \delta t. \quad (6)$$

В последнем выражении через m обозначен коэффициент пропорциональности между относительным изменением сопротивления плеча моста $\Delta R_t/R_{t,0}$ и вызванным им разбалансом $\Delta U_M/U_M$. Наибольшее значение m , равное 0,25, имеет равноплечий мост.

Коэффициент передачи усилителя, в силу нелинейности его амплитудной характеристики, зависит от величины входного напряжения, в данном случае от величины напряжения разбаланса моста. Чтобы не усложнять задачу, представим эту зависимость в виде линейной функции

$$\kappa = \kappa_0 (1 - n \Delta U_M). \quad (7)$$

В установившемся режиме работы мощность, рассеиваемая камерой, должна равняться мощности, выделяемой в нагревателе. Приравняв на этом основании правые части выражений (1) и (3), найдем

$$\Delta U_M = \frac{\sqrt{P_{уд} \cdot \Delta t \cdot R_n}}{\kappa},$$

откуда, после подстановки κ из (7), получим

$$\Delta U_M = \frac{\kappa_0 + \sqrt{\kappa_0^2 - 4\kappa_0 \cdot n \sqrt{P_{уд} \cdot \Delta t \cdot R_n}}}{2n\kappa_0}. \quad (8)$$

Из другого соотношения

$$\kappa \cdot \beta = 1, \quad (9)$$

справедливого также в установившемся режиме, с учетом (6), (7) и (8) найдем величину, на которую температура в камере отличается от температуры равновесия моста:

$$\delta t = \frac{2}{m \alpha_t \cdot \kappa_0 \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4n}{\kappa_0} \sqrt{P_{уд} \cdot \Delta t \cdot R_n}} \right)}. \quad (10)$$

Можно показать, что

$$\frac{4n}{\kappa_0} \sqrt{P_{уд} \cdot \Delta t \cdot R_n} = \sqrt{\frac{P_{уд} \cdot \Delta t}{P_{н.мах}}} = \sqrt{\frac{P_k}{P_{н.мах}}}, \quad (11)$$

и, следовательно,

$$\delta t = \frac{2}{m \alpha_t \cdot \kappa_0 \left(1 + \sqrt{1 - \sqrt{\frac{P_{уд} \cdot \Delta t}{P_{н.мах}}}} \right)}. \quad (12)$$

Через $P_{н.мах}$ здесь обозначена максимальная мощность, которую может отдать усилитель нагрузке R_n .

Если температура в камере такая же, как и у окружающей среды и равна t_0 , т. е. $\Delta t = 0$, то в схеме колебания не могут возникнуть. Они возникнут только тогда, когда температура в камере понизится на величину

$$\delta t = \delta t_0 = \frac{1}{m \alpha_t \cdot \kappa_0}. \quad (13)$$

С учетом (13) выражение (12) можно представить в следующем виде:

$$\delta t = \frac{2\delta t_0}{1 + \sqrt{1 - \sqrt{\frac{P_{уд} \cdot \Delta t}{P_{н.мах}}}}}. \quad (14)$$

С понижением температуры окружающей среды Δt начнет расти, а с ней будет расти и мощность, рассеиваемая камерой. При некотором значении $\Delta t = \Delta t_{мах}$ мощность, рассеиваемая камерой, становится равной мощности усилителя. Температура в камере будет отличаться от температуры равновесия моста, как это следует из (14), на величину

$$\delta t_{мах} = 2\delta t_0. \quad (15)$$

Дальнейшее уменьшение температуры окружающей среды будет вызывать пропорциональное изменение температуры в камере, т. е. стабилизатор перестанет нормально функционировать.

Таким образом, изменение температуры окружающей среды от $t_в = t_0$ до значения $t_в = t_0 - \Delta t_{мах}$, при котором $P_{н.мах} = P_{уд} \cdot \Delta t_{мах}$, приводит к изменению температуры в камере на величину

$$\delta t_{мах} - \delta t_0 = \delta t_0 = \frac{1}{m \cdot \alpha_t \cdot \kappa_0}.$$

Увеличивая κ_0 , можно добиться высокой точности поддержания заданной температуры в камере. Например, при $m = 1/4$, $\alpha_t = 0,04$ и $\kappa_0 = 1000$ нестабильность температуры будет составлять $0,1^\circ\text{C}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Промлет. Транзисторный термостат. «Приборостроение», 1966, февраль.